

煤矿深部矿井采煤—充填空间优化布局方法研究

陈亮 陈磊 马浩

(山东济宁唐口煤业有限公司, 山东 济宁 272000)

【摘要】 为了研究煤矿深部矿井采煤—充填空间优化布局, 解决采煤—充填的空间协调布局问题, 本文运用了德尔菲-层次分析法, 这种方法的作用在于能影响采充空间布局的各因素的相对权重, 构建采—充空间优化布局决策模型。同时, 本文以新巨龙煤矿为例, 分析在以采定充、以充定采的条件下, 该煤矿的井下需要同时布置两个填充面, 且整体充实率要达到一定的标准, 如此才能满足伴生矸石就地消化需求。

【关键词】 煤矿深部; 矿井采煤; 充填空间

深部矿井在开采的过程中会遇到矸石产矸量增加、原煤提升效率降低等挑战, 近些年, 生态环境不断恶化、土地资源被破坏, 矿井环境协调发展的保护受到了严重制约。许多深部矿井为改变这一情况, 正积极探索不仅能保护地表环境, 还能安全开采的方法, 采选充一体化技术便是其中的一种。这种技术是将井下采煤与充填空间结合, 让这两种优势得以充分发挥, 满足煤层卸压增透、岩层运移控制、水资源保护等需求。为此, 研究煤矿深部矿井采煤—充填空间优化布局方法很有必要。

一、矸石高效处置的必要性

(一) 煤矿矸石排放量大

煤炭资源具有高强度开发、规模大等特点, 随着矿井生态环境的变化、废弃物的增多, 近些年, 我国国矸石的堆放量越来越多, 现今统计已占地 20 余万亩, 且排放量也逐年增多。从“十三五”后, 陕、晋、宁等地区因开采条件好等因素成为我国煤炭的主要产能基地, 同时, 随着科技的发展, 煤炭生产朝着规模化、集约化的方向发展, 使得矿井数量不断增多, 矸石的排放量也不断增多, 这种情况很容易出现矸石山自燃、水环境破坏、大气污染等问题, 导致煤炭地区的生态环境较为脆弱。

(二) 煤矿开采井下可利用空间大

随着煤炭开采的争夺, 地下空间会越来越大, 根据相关的统计, 2023 年, 我国煤矿开采废弃空间达到了上万吨, 采空区的体积达到上百亿立方米, 如果每年能运用 2% 的采空区, 则可处置所有矿井排放的矸石, 如果利用 15%, 则可处置全部井下地面堆放矸石。因此, 对地下空间处置矿区废弃物加以合理利用是一个不错的选择, 能为未来煤矿井下开发利用提供

参考。

(三) 矸石处置与利用率低

目前, 矸石处置与利用的方法有多种, 如发电、井下利用、农业应用等, 但其综合利用率并不高, 仅为 60%。同时, 矸石发电的硬度大、热量低等问题, 用矸石制定的农业生产化肥存在品质要求高、运输费用高等问题, 这些都会影响矸石的高效利用。

(四) 国家政策导向

近些年, 矿山固废处置形势不断加剧, 针对此状况, 我国从“十三五”以来, 国家推出了一些法规政策, 以此来高效处置矸石, 如《关于“十四五”大宗体废弃物综合利用的指导意见》。同时, 在 2022 年, 习近平总书记提出金山银山就是绿水青山的理念, 为我国能源资源开发利用提供参考。

二、采—充空间布局影响因素相对权重分析

(一) 采煤空间布局影响因素相对权重分析

在设计深部矿井采煤充填时, 其规划布局时要考虑多方面的因素, 如技术装备、矿井设计产能、矿井开采条件、管理水平、煤层特性、采煤工艺等。

无结构复杂问题、多准则的处理运用层次分析法是可行的, 这是一种定性与定量相结合的分析方法, 用于采煤空间布局的分析有很好的适用性。该种方法的步骤为: 1. 建立层析结构模型; 2. 构造对比矩阵; 3. 检验成对对比矩阵及层析单排序; 4. 层次总排序。但将层析分析法用于矩阵比较中, 往往是单一决策者两两比较所有因素, 从这点来说, 这种方式的缺点是会受到主观者的影响, 为此, 在进行成对比较矩阵时, 本文运用了德尔菲法, 这种方法会进行多次征询, 如此会得到多位决策者的意见, 如此得到的成对比较矩阵会更加客观, 这种方法的决策流程见图 1。

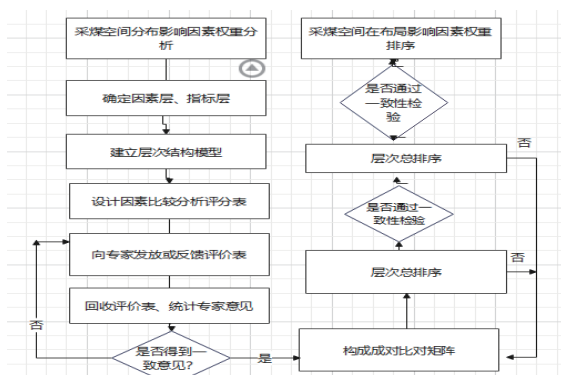


图1 德尔菲-层次分析法决策流程

在建立层次结构模型后，根据相关的指标，即采煤空间布局影响因素、安全高效开采指标、深部采选充一体化矿井开采目标，本文建立了层次结构模型，见图2。

深部采选充一体化矿井安全高效开采

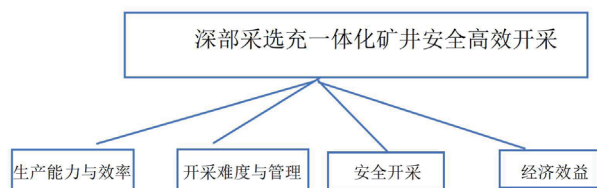


图2 层次结构模型

(二) 构建成对比较矩阵

见表1。在构造时根据各方面的因素，从指标层、因素层出发，依据某个指标的重要性对其进行评分，并邀请了20位专家，对他们发放问卷，让他们进自填，并对其进行多轮归纳、反馈，最终得到最终结论。

表1 比例标度

标度	含义
1	两因素同样重要
3	因素 i 比因素 j 稍微重要
5	因素 i 比因素 j 比较重要
7	因素 i 比因素 j 明显重要
9	因素 i 比因素 j 非常重要
2, 4, 6, 8	上述两相邻判断的中值

根据层析单排序、在成对矩阵一致性发现其中的各元素是两两比较的，因此各元素之间会出现不一致性，为了获取权值排序结果的准确性，要对元素间的不一致性进行限制，在得到相应的结果，即成对比较矩阵后，要注重检验其一致性，并将排序权值定为最大特征根 $\lambda_{\max}$ 的归一化特征向量，这是层析单排序。

根据上述的判断和分析可知，所形成的成对比较矩阵的一致性，即为 I_c ，其公式如下：

$$I_c = \lambda_{\max} - n / n - 1$$

为了衡量 I_c ，本文引入了另一个指标，即 I_R ，这一值与成对比较矩阵的阶数有密切的联系，在具体取值时，可参考表2。同时，结合上述内容，结果显示各成对比较矩阵具有满意的一致性。

表2 随机一致性指标 I_R 的取值参照

矩阵阶数	1	2	3	4	5	6
I_R 值	0	0	0.51	0.87	1.13	1.25
矩阵阶数	7	8	9	10	11	12
I_R 值	1.37	1.42	1.45	1.47	1.53	1.55

三、采充空间布置参数优化方法

深部煤矿矿井采煤-充填空间优化所运用的方式是深部采选充一体化，采充空间的影响因素包括多方面内容，如工程填充需求、实际开采条件等，要对其进行初步规划，确定采煤填充空间的布局方案，还要根据以采定充、以充定采的采充协调关系对充填采煤的空间布置参数加以准确界定。

(一) “以采定充”

“以采定充”指的是深部采选充一体化矿井将重点放在开采上，其主要目标是让年产煤量达到设计产能的需求，并对充填方式、相关参数合理确定，以此解决井下伴生矸石的问题。这是一种采充协调的方式，原煤开采情况会直接影响采空区的矸石，矿井年原煤产量 Y_c 的计算公式如下：

$$Y_c = Y_m + Y_b + Y_r$$

在此公式中， Y_m 、 Y_b 、 Y_r 分别表示的是采煤工作面的年产煤量、充填工作面的年产煤量、开掘煤巷的年产煤量。从该公式中可了解到矿井年原煤产量受到此三方面的影响。

(二) “以充定采”

以充定采指的是为了保护水资源、建筑物、控制岩层的运输，根据多种因素，如含矸率、矸石需求量、充填空间布局等确定采煤工作面各方面的参数，如布置工艺参数、采煤面的位置、数量等。

四、深部煤矿矿井采煤-充填空间优化布局的原则

本章基于以采定充和以充定采两种条件，对其采充空间优化布局要遵循的原则加以探究，以此为后续采充空间优化提供思路。

(一) “以采定充”条件

当煤炭深部矿井运用“以采定充”条件时，在优化空间布局时，可遵守下面的原则：第一，看到充填开采技术的优势，对其合理利用，以此实现留巷围岩控制、岩层运移控制等目标；第二，在布置时要有侧重点，按照以采为主，以充为辅的策略；第三，

充填空间的充填能力要富余，能注意井下伴生矸石产量的波动性变化；第四，在布置多个采煤工作面时，要根据产能要求来进行，以此有效布置采煤工作面的分散，减少灾害发生的概率；第五，充填工作面的相关信息，如位置、数量等要依据相关的标准灵活调整，通常是井下伴随矸石产量；第六，为减少充填工作面积的矸石消化压力，深部煤炭矿井要借助一些有效的方法，如连采连充、废巷抛矸充填等；第七，充填空间的选择要合理，可选择靠近下分选系统的区域内，如此能够减少矿井运输系统对矿井部分生产活动产生的影响。第八，为了保证矿井产能平稳，要重视采煤空间，将其放在煤层赋存稳定区，对于地质复杂的地区或不平稳的地区，可布置充填空间。

（二）“以充定采”条件

在“以充定采”条件下，优化采煤充填空间可遵循下面的原则：第一，充填空间布局的决定因素是工程充填需求，这种布局不受井下分选系统位置的影响；第二，采煤一充填空间布局在布置时，要将重点放在充上，将采作为辅助；第三，为了保障矸石供应，确保其产量，可采取两种方法，一是适当挖掘矸石产量，二是适当提升原煤产量；第四，为了确保矸石产量的需求，在布置采煤工作面时，要对其进行分散；第五，采煤一充填工作面的空间位置要合理调整，并能根据矿井具体填充需求来进行。

五、工程应用

（一）工程背景

本文选择新巨龙煤炭作为研究对象，该煤矿位于山东省巨野县龙堭镇，矿井在开拓时采取立井多水平分区的方式，设计产能为5.00Mt/a，当前，开采水平满足深度矿井的要求，其标高为-820m，同时该矿的每层有三层，平均厚度为8m，为了产生更多的煤，提升矿井的开采效率和质量，在井下进行了设计，在一采区建造了系统，其系统为重介浅槽+动筛跳汰煤矸分选系统，如此有效提升了年原煤分选能力。

（二）采一充空间具体布局位置规划

该煤矿所建地区的地表为农田，对地表沉陷控制并没有很高的要求，矿井的类型属于冲击地压矿井，2021年3月21日，一采区的北翼发生了冲击地压事故，由于煤层厚度较高，现有的充填开采装备水平难以达到要求，满足不了降低围岩应力集中的需求，二采区的南翼属于煤层分叉区，根据上述的分析，该煤炭在开采时要遵循“以采定充”的原则，并对采充空间加以分散布置，还要结合相应的影响因素，

如充填空间布局影响因素相对权重，最后决定在二采区的南翼进行充填工作，为了展现充填开采技术的作用，做好煤炭开采一充填工作，要根据矿井实际情况、当地的政策等，在井下同时布置两个工作面，并将其放入不同采区，以此实现降低围岩应力集中的程度。

（三）采煤一充填空间参数设计

在优化采煤一充填空间时，要考虑矿井年原煤产量、矿井伴生矸石产量等，以此设计充填工作面布置参数与工艺参数。假定充填工作面的采高高度为3米，布置长度为100米，日循环参数为3，将这些参数代入相应的公式中，可计算出 ϕ 达到90%，充填工作面的日处理矸石量为920t，无法满足矸石消化要求，同时，当充填工作面总长度增加到320米时，充实率会降低到68%。当 ϕ 达到80%，留巷效果会比较好。

结语：

本文运用了采用德尔菲-层次分析法分析采煤空间布局各因素的相对权重的影响因素，如采煤工艺、管理水平、采准巷道布置、矿井开采条件等，同时，充填空间布局的影响因素有工程充填需求、矸石运输成本、充填技术、煤矸分选能力等。为了满足深部矿井采充协调，满足井下伴生矸石的产量需求，可基于“以采定充”“以充定采”两条件制定采一充空间布局的基本原则，并构建相应的决策模型，确保矸石供应。最后，本文以新巨龙煤矿为例，得出井下采一充空间布局要采取同时设置两个充填面，增强充填带的充实率等措施。

参考文献：

- [1] 张学义. 某矿建筑物下遗留煤炭充填开采技术研究与应 [J]. 山西化工, 2023, 43(11):169-171.
- [2] 朱光辉, 傅鑫, 王敬喻. 控制煤矿开采沉陷的部分充填开采技术研究 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2023, (20):40-42.
- [3] 胡忍. 浅析煤矿充填开采工艺设计研究 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2023, (19):37-39.
- [4] 邵国荣. 煤层开采中充填采煤技术分析 [J]. 能源与节能, 2023, (07):106-108.
- [5] 邵国荣. 综合机械化固体充填采煤技术研究 [J]. 能源与节能, 2023, (06):159-161.
- [6] 李舰. 煤层开采中的充填采煤技术要点 [J]. 能源与节能, 2023, (03):134-136.
- [7] 池鹏冲. 煤炭开采技术与施工安全分析 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2023, (05):108-110.